

Caractéristiques physico-chimiques des rivières de Côte d'Ivoire

André ILTIS (1) et Christian LÉVÊQUE (1)

RÉSUMÉ

Il existe trois types de bassins en Côte d'Ivoire ; les grands bassins fluviaux s'étendant du nord au sud du pays, les bassins côtiers et les cours d'eau septentrionaux qui coulent vers le Mali. On peut distinguer quatre régimes hydrologiques : tropical de transition, équatorial de transition atténué, équatorial de transition et régime de montagne. Les grands cours d'eau (Comoé, Bandama, Sassandra, Cavally) ont un régime mixte.

La turbidité est surtout liée au débit solide qui est maximum en début de crue ; la transparence dépasse rarement un mètre.

La température de l'eau ne descend que très rarement en dessous de 25 °C : les variations saisonnières sont faibles et dans le bassin moyen du Bandama, la température de l'eau se situe entre 26 et 29° pendant au moins huit mois sur douze. Les pH sont légèrement alcalins sauf dans les cours d'eau de forêt de la zone côtière où ils sont légèrement acides.

Les rivières du centre et du nord du pays ont des conductibilités électriques en général faibles (40 à 70 micromhos en moyenne) ; les variations saisonnières sont directement liées au régime hydrologique, les plus fortes teneurs en sels dissous étant observées à l'étiage, les plus faibles durant les crues.

Comme dans la plupart des eaux douces africaines, les carbonates sont l'élément dominant parmi les anions, les sulfates viennent ensuite puis les chlorures. Les phosphates n'existent qu'à l'état de traces sauf en période d'étiage où ils peuvent égaler et même dépasser légèrement le poids des chlorures. Parmi les cations, calcium et sodium sont en mg/l les éléments les mieux représentés à peu près à égalité ; potassium et magnésium viennent ensuite. Les concentrations en silice dissoute concordent avec les valeurs signalées pour différents autres milieux d'Afrique de l'Ouest.

MOTS-CLÉS : Hydrologie — Transparence — Température — pH — Conductibilité électrique — Composition ionique — Rivières — Côte d'Ivoire — Afrique.

SUMMARY

PHYSICAL CONDITIONS AND CHEMICAL COMPOSITION OF RIVER WATERS IN THE IVORY COAST

Three types of river basins are found in Ivory Coast : large river basins extending from the North to the South of the country, coastal basins and northern rivers running towards Mali. Four hydrological regimes may be distinguished : transition tropical, transition attenuated equatorial, transition equatorial and mountain. The main rivers (Comoé, Bandama, Sassandra, Cavally) have a mixed regime.

The turbidity is principally related to the suspended sediment load that is maximum at the beginning of the flood ; transparency exceeds rarely one metre.

(1) Hydrobiologistes O.R.S.T.O.M., 24, rue Bayard, 75008 Paris.

The water temperature is hardly below 25 °C; the seasonal variations are low and in the mid-Bandama basin, the temperature ranges 26 to 29° during at least eight months of the year. The pH are slightly alkaline except in the coastal rivers where they are slightly acid.

The rivers of the center and northern Ivory Coast have specific conductance generally low (40 to 70 micromhos on an average); the seasonal variations are directly related to the hydrological regime, the highest salinity being observed in low waters, and the lowest during flood.

As in most of the African freshwaters, carbonates are dominant among the anions, followed by sulphates and chlorides. The phosphates concentration is very low except during the low waters when it reaches and even exceeds the chlorides one. Calcium and sodium are largely dominant among cations. The dissolved silicates concentration agrees fairly well with the values already observed in other West African rivers.

KEY-WORDS : Hydrology — Turbidity — Temperature — pH — Conductivity — Chemistry — Rivers — Ivory Coast — Africa.

L'étude hydrobiologique des rivières de Côte d'Ivoire a été réalisée dans le cadre d'un programme de surveillance des milieux aquatiques soumis à des épandages hebdomadaires d'insecticides antismulidiens (programme O.M.S. de lutte contre l'Onchocercose) (1). Un protocole de surveillance avait été mis au point (LÉVÊQUE *et al.*, 1978) en vue d'étudier notamment l'évolution des populations algologiques, entomologiques et ichtyologiques. Depuis 1974, des observations sont ainsi réalisées à intervalles réguliers, dans différentes stations de surveillance, afin d'évaluer l'impact et les conséquences éventuelles des pollutions par insecticides sur le fonctionnement des écosystèmes lotiques.

Cette note a pour objectif de préciser le contexte physico-chimique de l'étude biologique des cours d'eau ivoiriens et d'apporter les éléments utiles pour l'interprétation des résultats de la surveillance; nous avons essayé également de faire le point des travaux effectués sur la physico-chimie des différents cours d'eau de Côte d'Ivoire, leurs résultats souvent publiés dans des rapports n'étant pas toujours facilement accessibles pour la communauté scientifique.

1. LE RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE DE CÔTE D'IVOIRE

On peut distinguer schématiquement trois types de bassins dans le réseau hydrographique ivoirien :

— les grands bassins traversant le pays du nord vers le sud : la Comoé grossie de la Léraba ; le Bandama qui reçoit le Nzi et la Maraoué ; le Sassandra grossi du Nzo ; le Cavally qui constitue à l'ouest la frontière méridionale avec le Libéria ; le Nipoué

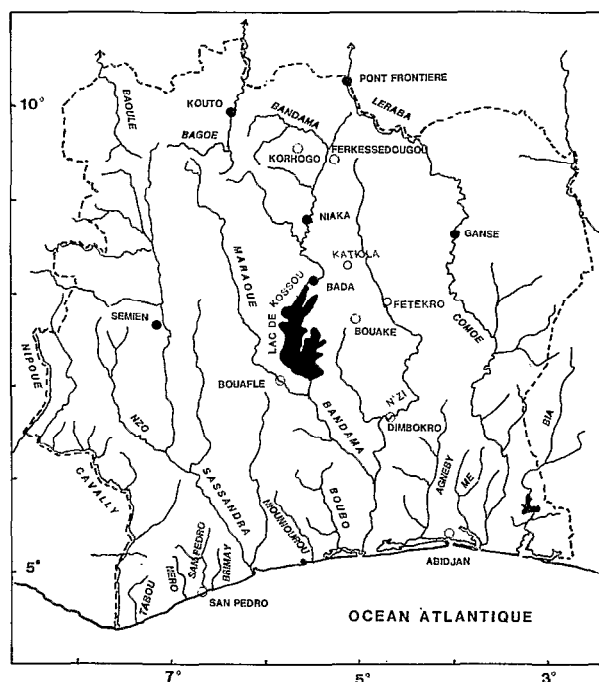


FIG. 1. — Réseau hydrographique de Côte d'Ivoire. Les points noirs correspondent aux stations de surveillance de l'environnement aquatique

dont une partie seulement coule en Côte d'Ivoire, la majeure partie du cours étant au Libéria ;

— les petits bassins côtiers, orientés également nord-sud, mais de moindre importance que les précédents : d'est en ouest, Bia, Mé, Agnèby, Boubo, Niouniourou, Brimay, San Pédro, Néro, Tabou.

(1) Ce programme a reçu un financement de l'O.M.S. et a fait l'objet d'un accord O.R.S.T.O.M.-O.M.S. en Côte d'Ivoire.

— les affluents du Niger qui coulent vers le Mali : Bagoé et Baoulé notamment ; ils sont situés dans le nord du pays.

Le bassin versant le plus important est celui du Bandama (tabl. I) suivi par ceux de la Comoé et du Sassandra.

TABLEAU I
Caractéristiques générales de différents cours d'eau de Côte d'Ivoire

	Superficie du bassin versant (km ²)	Longueur du cours (km)	Pente moyenne m/km
Bandama.....	97 000	1 050	0,46
Nzi	35 500	725	0,53
Maraoué.....	24 300	550	0,65
Comoé.....	78 000	1 160	0,25
Sassandra....	66 000	840	0,85
Cavally.....	28 800	700	0,85
Bia.....	9 650	290	0,
Agnéby.....	8 900	200	1,25
Boubo.....	5 100	130	3
Mé.....	4 300	140	
San Pedro....	3 310	112	1,7
Brimay.....	1 070	65	1,7
Nero.....	985	80	2,1
Tabou.....	800		

2. PLUVIOMÉTRIE ET RÉGIMES HYDROLOGIQUES

En année moyenne, la pluviométrie est comprise entre 1050 et 2500 mm selon les régions (GIRARD *et al.*, 1971). On peut distinguer quatre régimes pluviométriques selon l'abondance et la répartition des précipitations (tabl. II), auxquels correspondent quatre types de régimes hydrologiques (GIRARD et SIRCOULON, 1968 ; GIRARD *et al.*, 1971 ; ELDIN, 1971) :

régime tropical de transition (climat soudanien) dans la zone de savane arborée de la partie nord et nord-ouest de la Côte d'Ivoire. Les précipitations annuelles assez abondantes (1250 à 1700 mm) ont lieu essentiellement de juillet à septembre. On observe une crue unique d'août à octobre suivie d'une décrue rapide et d'un étiage durant lequel l'écoulement est très faible. C'est le cas notamment pour la Bagoé, le Baoulé (fig. 2), le Haut Bandama et la Haute Comoé. Ces rivières ont généralement des plaines d'inondations. Dans les bassins à faible superficie (10 à 100 km²), il y a un écoulement de juillet à septembre et tarissement ensuite ;

régime équatorial de transition (climat attien) dans la partie méridionale du pays. On distingue une première saison des pluies d'avril à juillet, une petite

saison sèche de juillet à septembre, une seconde saison des pluies de septembre à novembre moins importante que la première, et une grande saison sèche de décembre à mars. La hauteur des précipitations annuelles varie entre 1400 et 2500 mm. Il y a deux crues dont la plus importante est en juin-juillet et la seconde en octobre-novembre (c'est le cas pour la plupart des petits bassins côtiers tels que l'Agnéby, la Mé, le San Pedro, etc.) (fig. 2). Durant l'étiage, une certaine quantité d'eau continue de s'écouler ;

régime équatorial de transition atténué (climat baoulien) dans la zone de savane boisée du centre de la Côte d'Ivoire. C'est l'intermédiaire entre les deux types précédents : une première saison des pluies de mars à juin est suivie d'un ralentissement des précipitations en juillet et août. Une seconde saison des pluies, cette fois plus importante a lieu en septembre et octobre à laquelle fait suite une saison sèche très marquée jusqu'en février. La pluviométrie annuelle varie entre 1100 et 1600 mm. Le régime est intermédiaire entre les deux précédents : le dédoublement de la crue annuelle n'est plus toujours nettement marqué mais on observe en général une première crue assez faible en mai-juin, suivie d'une crue beaucoup plus importante dont le maximum est en octobre. C'est le cas du cours inférieur du Nzi par exemple (fig. 1) ;

régime de montagne dans les massifs montagneux de l'ouest. Il ne comporte que 2 saisons bien individua-

lisées : la saison sèche est courte alors que les pluies s'étalent de mars à octobre avec un maximum en

TABLEAU II

Répartition mensuelle des hauteurs de précipitations en mm (GIRARD *et al.*, 1971)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<i>Régime équatorial de transition</i>												
Abidjan	29	42	115	155	355	595	226	30	55	189	187	109
Tabou	53	48	88	134	416	533	156	83	221	203	195	145
Sassandra	23	24	74	104	295	511	157	23	48	100	142	87
<i>Régime équatorial de transition atténué</i>												
Dimbokro	16	46	123	151	182	184	95	60	138	130	63	19
Bondoukou	15	43	74	131	169	166	80	64	186	177	51	17
Soubré	33	56	139	166	173	245	107	100	220	191	120	54
<i>Régime tropical de transition</i>												
Ferkéssédougou	5	19	47	91	140	158	186	299	251	112	32	110
Odienné	3	14	39	76	118	176	289	383	292	164	54	10
<i>Régime de montagne</i>												
Danané	24	68	127	171	180	305	347	347	408	217	75	35
Man	16	57	116	159	159	214	207	260	320	170	56	22

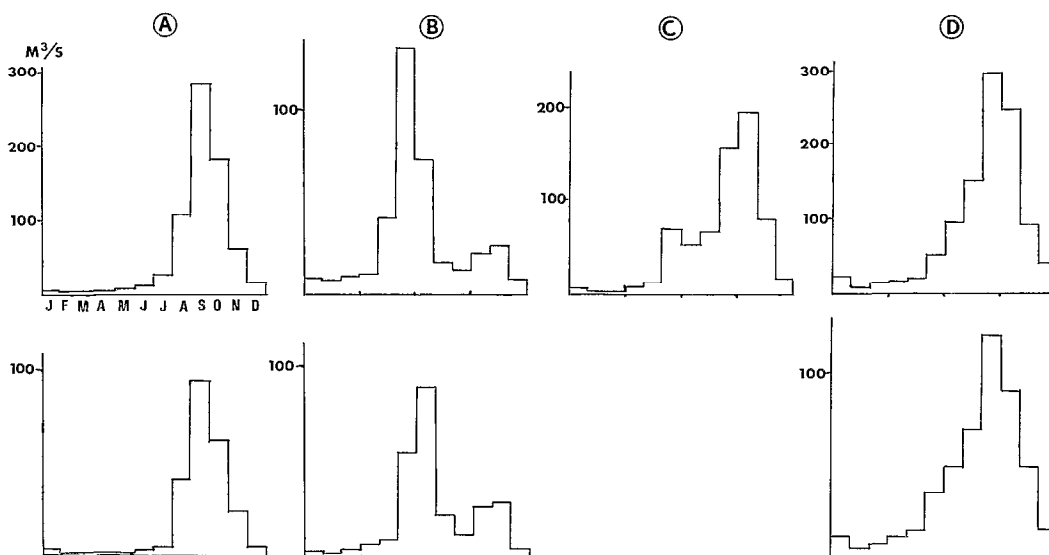


FIG. 2. — Principaux régimes hydrologiques en Côte d'Ivoire. A : Régime tropical de transition (en haut, la Maroué à hauteur de Séguéla ; en bas, la Bagoé vers Kouto) ; B : Régime équatorial de transition (en haut, la Mé à Alépé ; en bas, l'Agnèby à Agboville) ; C : Régime équatorial de transition atténué : (le Nzi à Dimbokro) D : Régime de montagne (en haut, le Nzo à Guiglo ; en bas, le Cavally à Flampeu)

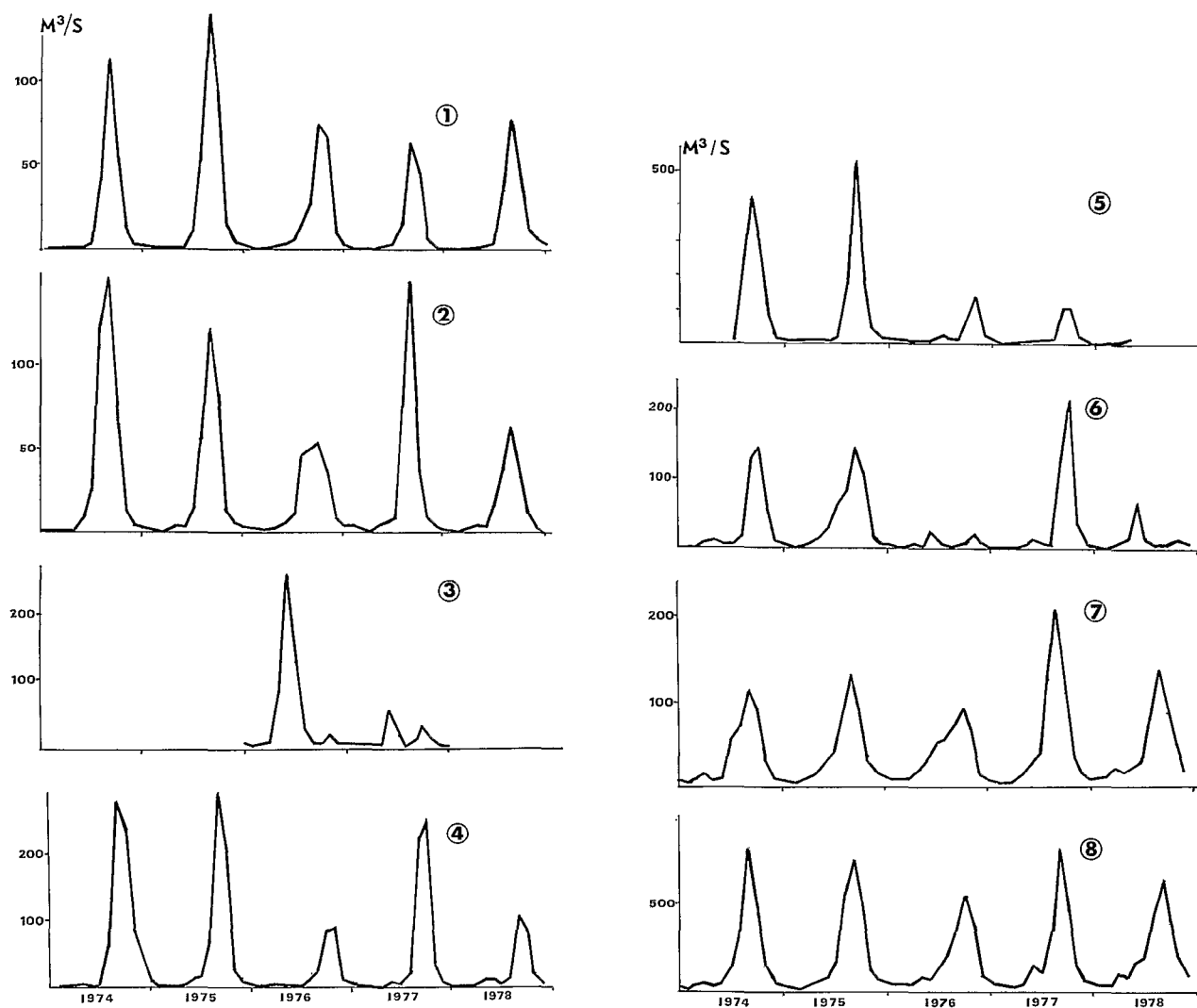


FIG. 3. — Débits mensuels moyens de 1974 à 1978 dans quelques cours d'eau. (1) et (2) : Régime tropical de transition (Bagoé vers Kouto et Léraba au pont frontière); (3) : Régime équatorial de transition (Mé à Alépé); (4), (5) et (6) : Régime équatorial de transition atténué (Maraoué vers Bouaflé, Bandama à Bada, Nzi à Dimbokro); (7) : Régime de montagne (Cavally à Flampieu); (8) : Régime mixte (Sassandra à Sémien)

septembre. Les précipitations varient entre 1400 et 2300 mm. Sur le plan hydrologique, il se rapproche du régime de savane par l'existence de deux saisons bien individualisées, mais la période de crue est plus étalée (de mars à octobre) avec un maximum en septembre. Ce régime est illustré par les hydrogrammes du Nzo et du Cavally (fig. 2). L'écoulement n'est pas négligeable en période d'étiage comme dans le cas du régime équatorial de transition.

La plupart des grands cours d'eau de Côte d'Ivoire (Comoé, Bandama, Sassandra, Cavally) ont un régime

hydrologique mixte car ils subissent diverses influences du fait de l'étendue de leur bassin hydrologique.

En conclusion, « les variations saisonnières du débit suivent une évolution progressive qui se traduit par un étalement puis un dédoublement de la période des hautes eaux lorsqu'on passe du régime tropical de transition aux régimes équatoriaux de transition atténué et normal. La période des basses eaux en revanche s'amenuise; quant à l'amplitude de ces variations, si elle est très marquée dans le régime tropical de transition, elle tend à s'atténuer

sensiblement sous l'influence équatoriale » (GIRARD *et al.*, 1971).

Ces différents types de régimes hydrologiques ont été définis d'après la moyenne des évolutions saisonnières des débits et il faut signaler l'importance des variations interannuelles qui se produisent en liaison avec les aléas climatiques locaux. Au cours de deux années consécutives, le débit maximal d'un cours d'eau peut varier de plus du simple au double de part et d'autre de la moyenne. On remarquera ainsi, en 1976, des débits très déficitaires dans beaucoup de rivières tandis que l'année 1975 a montré des débits maximaux élevés dans le Bandama à Bada ou la Bagoé vers Kouto (fig. 3).

3. CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX

3.1. Transparence de l'eau

La transparence mesurée au disque de Secchi dépasse rarement un mètre. Sauf en période de basses eaux où le développement du plancton limite la transparence, la turbidité est surtout liée au débit solide des rivières qui est maximum en début de crue (ROUGERIE, 1960).

Dans les rivières à régime tropical de transition, le minimum annuel de transparence s'observe en août-septembre ; il est de 0,16 m dans la Léraba au pont frontière (août 1977), 0,25 m dans la Bagoé à hauteur de Kouto (septembre 1977) et 0,07 m dans la Haute Comoé à Gansé (août 1977). Le maximum se situe en avril avec 0,95 m pour la Léraba, 1,05 m pour la Bagoé et 0,62 m pour la Haute Comoé (fig. 4). Aux stations considérées, cette dernière avec une transparence moyenne annuelle de 0,31 est en général plus turbide que les deux autres cours d'eau qui ont des transparences moyennes de 0,49 m.

Dans la région centrale de Côte d'Ivoire, la transparence atteint des valeurs maximales en février-mars et en août. Des valeurs très faibles sont observées au contraire en septembre-octobre et en mai-juin-juillet (fig. 4), périodes qui correspondent aux crues de ces rivières à régime équatorial de transition atténué. Dans le Nzi et le Bandama aux environs de Bouaké et la Maraoué vers Bouaflé, le minimum observé en 1977 varie entre 0,10 m et 0,17 m, le maximum est de l'ordre de 1,10 m (sauf dans le Nzi vers Fétékro où le maximum n'est que 0,70 m). Aux cinq stations étudiées, les moyennes annuelles sont de 0,52 pour le Bandama, 0,36 et 0,43 en deux stations du Nzi et 0,60 pour la Maraoué. On remarquera le caractère très irrégulier des variations observées, une forte pluie suffisant à modifier la transparence du milieu au moment des observations.

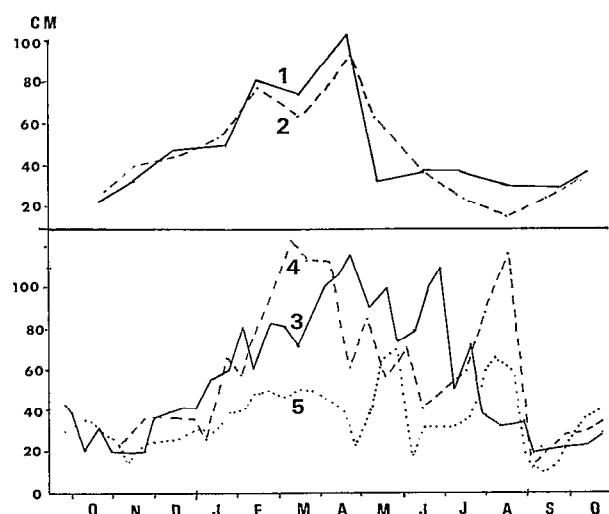


FIG. 4. — Variations de la transparence. En haut : dans les rivières à régime tropical de transition en 1976-77, 1 : la Bagoé, 2 : la Léraba ; en bas : dans les rivières à régime équatorial de transition atténué en 1976-77, 3 : le Bandama à Bada, 4 : la Maraoué vers Bouaflé, 5 : le Nzi à Fétékro

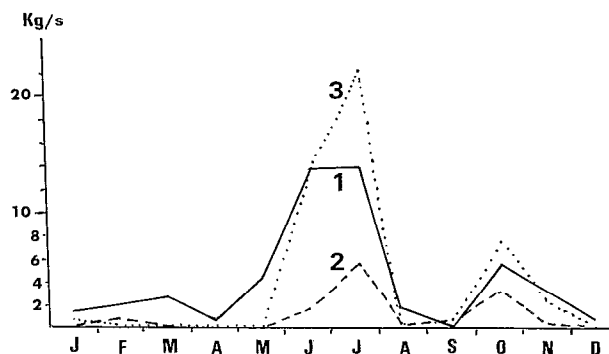


FIG. 5. — Débit solide des cours d'eau de la zone à régime équatorial de transition. 1 : l'Agnéby en 1951 ; 2 : la Néro en 1972 ; 3 : le San Pedro en 1972

Les cours d'eau à régime équatorial de transition de la zone forestière ont deux périodes de forte turbidité. La plus importante se situe en juin-juillet, la seconde en octobre-novembre (fig. 5). Les variations de débit solide de deux petits fleuves côtiers, le San Pedro et la Néro étudiés par MOLINIER (1976), laissent apparaître des valeurs minimales en mars-avril et en août correspondant aux transparences maximales ; il en est de même pour la Mé et l'Agnéby (ROUGERIE, 1960).

Dans l'ensemble des cours d'eau, on observe une augmentation de la transparence de l'amont vers

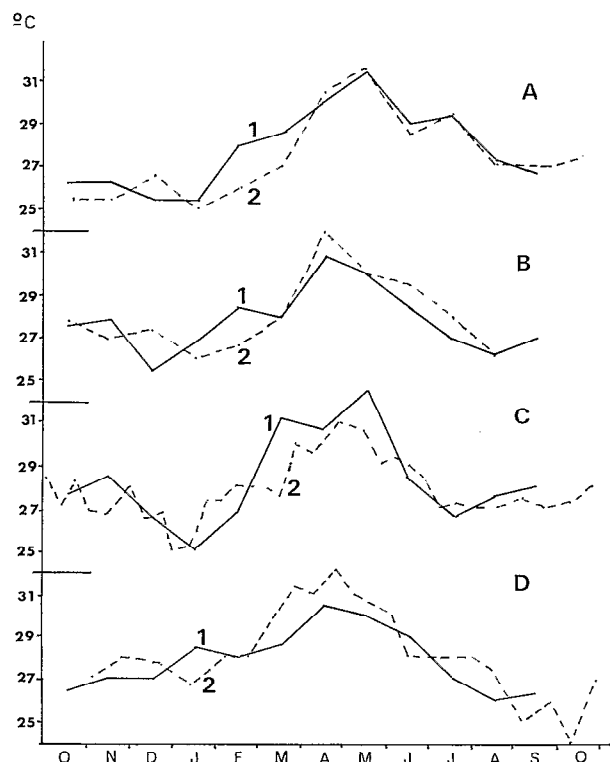


FIG. 6. — Variations saisonnières de la température de l'eau. A: dans la Bagoé, température moyenne (1) et température à 17 h en 1976-77 (2); B: dans la Comoé à Gansé, température moyenne (1) et température entre 16 et 17 h (2); C: dans le Bandama à Bada, température moyenne (1) et température entre 9 et 10 h (2); D: dans la Maroué vers Bouaflé, température moyenne (1) et température entre 11 h 30 et 14 h en 1976-77 (2)

l'aval; trois mesures effectuées en amont du débouché de la Comoé dans la lagune Ébrié ont indiqué en 1977 des transparences de 2,50 m (mars), 1,0 m (juillet) et 0,25 m (septembre) tandis qu'une moyenne de 0,995 m avait été trouvée en 1975 (DUFOR, *comm. pers.*)

3.2. Température

Ces données proviennent de diverses sources (TRAORÉ 1979, QUILLÉVÉRÉ, *comm. pers.*, DUFOR, *comm. pers.*, O.R.S.T.O.M.-O.M.S., 1976) et des observations des Hydrobiologistes de la mission O.R.S.T.O.M. de Bouaké.

Les températures moyennes des eaux varient entre 24-25 °C (décembre-janvier) et 31-32 °C (avril-mai) dans les rivières du nord et du centre de la Côte d'Ivoire, avec une moyenne annuelle voisine de 28 °C (fig. 6). Des observations réalisées de manière

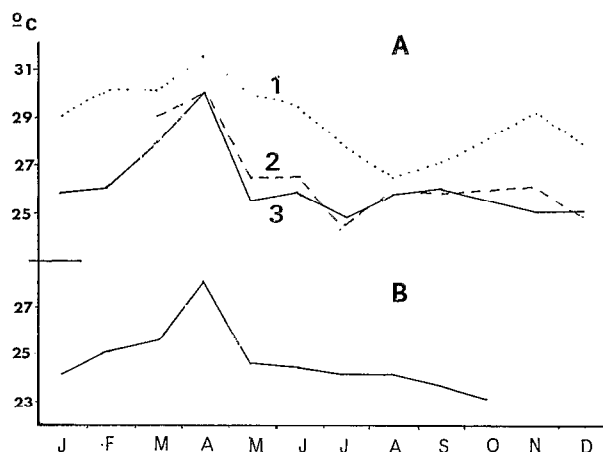


FIG. 7. — Températures de différents cours d'eau en zone forestière. A: température moyenne de la Comoé à son embouchure (1) de la Mé (2) de l'Agnéby (3); B: température moyenne du Cavally vers Toulépleu

irrégulière sur les cours d'eau se jetant dans la lagune Ébrié (Agnéby, Mé, Basse Comoé) mettent en évidence un maximum en avril et un autre en novembre (fig. 7 A), les minimums se situant en juillet-août et en janvier pour ces cours d'eau à régime équatorial de transition. Dans le Cavally (régime de montagne), des mesures faites à Toulépleu (fig. 7 B) montrent que les températures moyennes comprises entre 23 et 28 °C sont plus basses que dans les autres cours d'eau.

La température des cours d'eau ivoiriens ne descend que très rarement en dessous de 25°; les valeurs les plus faibles s'observent dans les rivières du nord du pays durant la saison fraîche (décembre-janvier) et dans les cours d'eau de montagne. Le minimum absolu personnellement observé par l'un des auteurs est de 22° en janvier dans la Léraba au pont frontière et le maximum de 34° dans le Bandama blanc à Bada en mai. L'amplitude moyenne annuelle reste dans la plupart des eaux courantes limitée à 5 ou 6°. Dans le bassin du Bandama, d'après les observations réalisées régulièrement en 1977, la température de l'eau se situe entre 26 et 29° pendant au moins huit mois sur douze.

3.3. pH

Les pH sont tous légèrement alcalins dans le bassin du Bandama. Ils varient entre 7,0 et 7,5 (moyenne 7,24 pour 29 mesures) au cours de l'année dans le Nzi à hauteur de Fétékro, et entre 7,05 et 7,4 (moyenne 7,2 pour 11 mesures) à 70 km en amont. Dans le Bandama à Bada, les extrêmes sont 7 et 7,9 avec une

moyenne de 7,35 (23 mesures), ce qui correspond aux résultats des observations faites par LENOIR (1972) avant la fermeture du barrage de Kossou. Dans la Maraoué vers Bouaflé, la moyenne est de 7,33 (extrêmes 7,1 et 7,6) au cours de l'année.

En période d'étiage, le pH peut s'élever localement aux environs de 8 en raison de l'abondance du phytoplancton et de l'activité photosynthétique. BISWAS (1967) a également observé dans la Volta au Ghana des pH de 8 à 8,5 dus à un phytoplancton très dense.

Il n'a pas été possible de mettre nettement en évidence des variations saisonnières du pH, bien que les valeurs soient un peu plus faibles pendant les crues, mais EGBORGE (1971) signale dans la rivière Oshun au Nigeria des pH de 7,2 à 7,5 durant la saison des pluies et de 7,5 à 8,0 durant l'étiage.

Dans les rivières de la région côtière, les pH sont légèrement acides, de l'ordre de 6,60 en moyenne. D'après l'étude faite par MOLINIER (1976) sur des cours d'eau du sud-ouest de Côte d'Ivoire, les pH moyens annuels du San Pedro mesurés pendant 3 ans varient entre 6,57 et 6,70 avec des valeurs extrêmes de 5,7 et 7,1. Dans le Néro, ces moyennes varient entre 6,50 et 6,64 et dans le Brimay entre 6,47 et 6,67.

Dans le Sassandra dont le bassin s'étend du nord au sud sur trois types de climat, le pH moyen annuel à 15 km de l'embouchure est de 7,15 (1973 et 1974), les valeurs extrêmes observées étant de 6,7 et 7,6 (MOLINIER, 1976).

3.4. Conductibilité électrique à 25 °C

Dans les rivières à régime tropical de transition du nord de la Côte d'Ivoire, les conductibilités annuelles moyennes sont respectivement de 40,8, 41,5 et 51,4 micromhos dans la Léraba (pont frontière), le Bagoé (vers Kouto) et la Comoé (à Gansé) en 1977. Les valeurs minimum ont été mesurées en août (21 micromhos pour les 2 premières, 34 pour la 3^e). La conductibilité augmente ensuite jusqu'en décembre, marque un palier en janvier-février puis croît jusqu'à un maximum fin avril-début mai (59,53 et 66 micromhos) (fig. 8).

Dans les cours d'eau à régime équatorial atténué, un maximum se produit en avril, de l'ordre de 80 micromhos pour le Bandama vers Bouaké et 92 pour la Maraoué vers Bouaflé, et un second peu important en août ; le minimum le plus marqué se situe en octobre-novembre (40 à 45 micromhos), la moyenne annuelle étant de 59 pour le Bandama et de 71 pour la Maraoué (fig. 8). Dans le Nzi à hauteur de Katiola et Bouaké, la conductibilité électrique est très variable au cours de l'année, et principalement de mars à septembre en raison de l'irrégularité des débits. La teneur globale en sels dissous croît régulière-

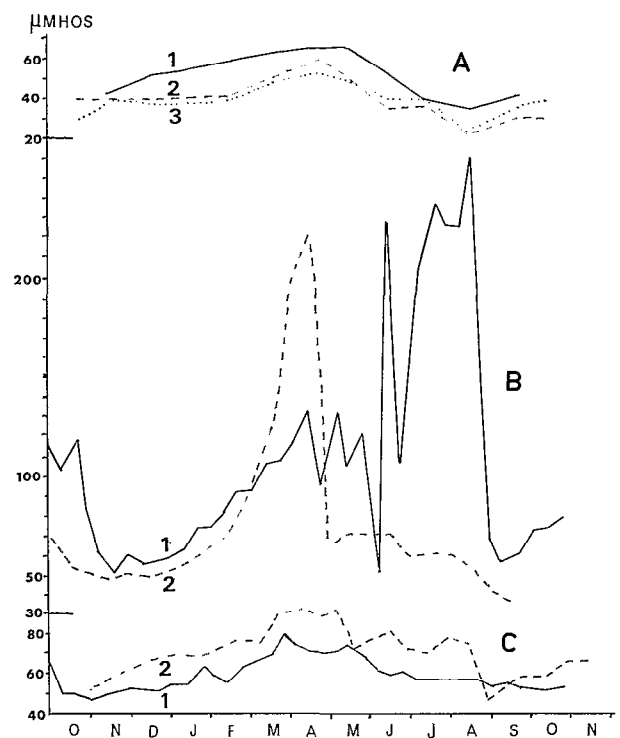


FIG. 8. — Variations saisonnières de la conductibilité électrique à 25 °C en 1976-77. A : dans la Comoé à Gansé (1), dans la Léraba au pont frontière (2), dans la Bagoé vers Kouto (3) ; B : dans le Nzi à Fétékro (1), dans le Nzi à hauteur de Katiola (2) ; C : dans le Bandama à Bada (1), dans la Maraoué vers Bouaflé (2)

lièrement jusqu'en avril, où ne subsiste de la rivière que des biefs isolés par des seuils rocheux ; mais une ou deux fortes pluies suffisent pour que la rivière se remette à couler quelques jours, entraînant d'importantes variations observées en avril-mai. A partir de juin, les pluies deviennent plus abondantes ; des ruissellements d'eau de pluie peu chargés en sels dissous alternent avec des passages d'eau de plus forte conductibilité provenant de mares isolées durant l'étiage ou d'affluents remis en eau. En septembre-octobre, la crue arrive à son maximum et la conductibilité atteint les valeurs les plus basses (fig. 8). La moyenne annuelle s'établit en 1976-1977 à 71 micromhos à hauteur de Katiola et 106 à hauteur de Bouaké avec des maximums compris entre 219 et 259 et des minimums de 35 à 47 micromhos, soit dans l'ensemble des valeurs plus élevées que dans le Bandama et la Maraoué.

La conductibilité augmente sensiblement d'amont vers l'aval ; dans le Nzi le 25 février 1970, elle est de 65,0 à quelques dizaines de km de la source et de

96,5 à Dimbokro. En début décembre 1976, elle est de 47 micromhos à hauteur de Katiola, 53 à hauteur de Bouaké et 66 à Dimbokro.

Il n'existe pas, à notre connaissance, de données pour les cours d'eau à régime de montagne ou équatorial de transition ; on peut donc seulement conclure que les rivières du centre et du nord de Côte d'Ivoire ont des conductibilités électriques en général faibles. Sauf pour les cours d'eau coulant de façon intermittente, celles-ci sont du même ordre de grandeur dans les différents bassins. Leurs variations saisonnières sont directement liées au régime hydrologique, les plus fortes teneurs en sels dissous étant observées à l'étiage, les plus faibles durant les crues. Plus le débit est faible et moins les variations de conductibilité sont amorties, par suite de l'absence d'un volant liquide suffisant pour atténuer les irrégularités de la pluviométrie sur le bassin versant ; ainsi l'écart entre les valeurs extrêmes de la conductibilité est pour une période d'un an de 35 micromhos pour le Bandama à Bada (débit moyen = 22,6 m³/s en 1976) et 212 pour le Nzi à Fétékro (débit moyen : 2,3 m³/s en 1976).

A titre de comparaison, EGBORGE (1971) observe dans la rivière Oshun, au sud-ouest du Nigeria, un minimum de 44 micromhos en septembre et un maximum de 96,2 en mars, soit des valeurs de l'ordre de celles observées dans le Bandama et la Maraoué.

3.5. Composition ionique des eaux

3.5.1. MÉTHODES

La plupart des analyses chimiques disponibles pour les cours d'eau ont été faites par le laboratoire central d'analyses de l'O.R.S.T.O.M. à Adiopodoumé (Côte d'Ivoire). Carbonates et bicarbonates ont été dosés par potentiométrie ; Cl⁻ par déplacement du SCN du thiocyanate mercurique et colorimétrie au Technicon du thiocyanate ferrique formé ; SO₄²⁻ par turbidimétrie (photomètre JEAN et CONSTANT) de SO₄Ba maintenu en suspension par l'addition d'un produit tensio-actif (tween 20) ; PO₄³⁻ par formation d'un complexe phosphomolybdique réduit à chaud par l'acide ascorbique et colorimétrie au Technicon du bleu de molybdène ; Ca²⁺ et Mg²⁺ par photométrie d'absorption atomique et Na⁺ et K⁺ par photométrie de flamme (butane-air comprimé).

3.5.2. COMPOSITION RELATIVE ET VARIATIONS SAISONNIÈRES

Comme dans la plupart des eaux douces africaines, CO₃H⁻ est l'élément largement dominant parmi les anions ; SO₄²⁻ vient ensuite puis Cl⁻ ; PO₄³⁻ n'existe dans la plupart des prélèvements qu'à l'état de traces,

sauf en période d'étiage où il peut égaler et même dépasser légèrement le poids d'ions Cl⁻ ; mais, dans l'ensemble, les teneurs en phosphates sont très basses.

Parmi les cations, Ca²⁺ et Na⁺ sont en mg/l les éléments les mieux représentés, à peu près à égalité ; le potassium vient ensuite puis le magnésium. Exprimé en me/l, c'est le potassium qui est le plus mal représenté.

Aux stations des cours d'eau à régime tropical, les teneurs en bicarbonates varient suivant les saisons entre 20 et 40 mg/l dans la haute Comoé, entre 12 et 35 dans la Léraba et 20 et 32 dans la Bagoé. Les teneurs en SO₄²⁻ et Cl⁻ sont en général dans cette région de l'ordre de 4 à 7 mg/l pour le premier, entre 0,2 et 2 mg/l pour le second. PO₄³⁻ a le plus souvent des teneurs de 0,1 mg/l. Dans certains cours d'eau (Yani vers Séguéla, Fon vers Mankono, Lonreni vers Katiola, etc.), cet élément serait, d'après des observations faites en avril et juillet 1972, en quantités supérieures à SO₄²⁻ (RAI, 1974) alors que c'est en général l'inverse dans les rivières. Les teneurs en cations sont de l'ordre de 2 à 5 mg/l pour le calcium, de 1 à 2,5 mg/l pour le magnésium, de 1,5 à 3,5 mg/l pour le potassium et de 2 à 5 mg/l pour le sodium.

Aux différents points de prélèvement dans les rivières à régime équatorial de transition atténué, les bicarbonates varient en général entre 30 et 55 mg/l ; SO₄²⁻, entre 1 et 8 mg/l ; Cl⁻, entre 0,01 et 3 mg/l et PO₄³⁻ entre 0,01 et 1 mg/l. Chez les cations, les teneurs en calcium sont de l'ordre de 3,5 à 7 mg/l ; en magnésium, de 1 à 4 mg/l ; en potassium, de 1,5 à 4,5 mg/l et le sodium de 4 à 8 mg/l. Dans les cours d'eau qui deviennent stagnants en saison sèche tel le Nzi à hauteur de Bouaké, les teneurs en sels dissous des eaux sont bien plus élevées (plus de 100 mg/l de CO₃H⁻ et 20 à 25 mg/l de Na⁺ par exemple en avril).

Dans les cours d'eau côtiers étudiés par MOLINIER (*ibid.*), les bicarbonates varient le plus souvent entre 14 et 35 mg/l, les sulfates entre 2 et 8 mg/l les chlorures entre 2,5 et 10 mg/l. Les phosphates sont le plus souvent à l'état de traces. Les teneurs en calcium sont de l'ordre de 1,5 à 5 mg/l, en magnésium, de 1,5 à 3,5 mg/l, en potassium, de 1 à 3 mg/l et en sodium, de 3 à 8 mg/l.

EGBORGE (*ibid.*) signale 6 à 11 mg/l de calcium et 1 à 6 mg/l de magnésium dans la rivière Oshun au Nigeria, soit des valeurs un peu plus élevées que celles observées en général ici.

Des variations assez importantes existent entre les pourcentages des différents éléments suivant les saisons ou l'hydrologie des cours d'eau. Pour le centre et le nord de la Côte d'Ivoire, les variations d'une rivière à l'autre sont faibles et sont de moindre importance que les variations saisonnières de l'une ou l'autre d'entre elles. Pour chacune, on a défini

TABLEAU III

Principaux ions des eaux des rivières du nord de Côte d'Ivoire. Pourcentages en me/l et teneurs en mg/l

	Haute Comoé (Gansé)						Bagoé (vers Kouto)						Léraba (Pont frontière)					
	Moyenne		Crue		Étiage		Moyenne		Crue		Étiage		Moyenne		Crue		Étiage	
	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l
CO ₃ H ⁻	73,8	30,9	61,5	19,8	88,0	41,5	79,3	25,1	56,9	20,5	94,4	32,0	76,0	24,0	48,6	11,5	92,1	36,0
SO ₄ ⁺⁺	17,2	5,3	26,9	6,6	8,0	3,0	15,2	3,9	41,4	11,2	3,7	1,0	17,0	3,9	37,8	6,6	6,3	1,9
Cl ⁻	6,9	1,5	1,9	0,0	2,7	0,7	3,6	0,5	1,7	0,0	1,9	0,4	5,2	0,7	10,8	1,2	1,6	0,4
PO ₄ ⁻⁻⁻	2,1	0,2	9,6	1,4	1,3	0,1	2,1	0,2	1,7	0,2	0	0,1	1,8	0,1	2,7	0,2	0	0,1
Ca ⁺⁺	37,3	4,4	38,1	3,2	36,7	5,8	35,1	3,2	50,0	4,0	38,6	4,4	37,6	3,4	50,0	3,0	38,1	4,9
Mg ⁺⁺	26,4	1,8	26,2	1,4	35,4	3,5	19,8	1,1	15,0	0,8	19,3	1,4	27,2	1,6	23,3	0,8	30,2	2,4
K ⁺	11,8	2,5	21,4	3,2	8,9	2,8	11,0	1,9	12,5	2,0	10,5	2,1	12,7	2,2	16,7	2,0	12,7	3,1
Na ⁺	24,5	3,3	14,3	1,2	19,0	3,4	34,1	3,7	22,5	2,0	31,6	4,1	22,5	2,3	10,0	0,7	19,0	2,6

TABLEAU IV

Principaux ions des eaux du Bandama, de la Maraoué et du Nzi. Pourcentages en me/l et teneurs en mg/l

	BANDAMA												MARAOUÉ					
	Vers Niaka						Bada						Vers Bouaflé					
	Moyenne		Crue		Étiage		Moyenne		Crue		Étiage		Moyenne		Crue		Étiage	
	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l
CO ₃ H.....	81,0	36,0	72,9	38,8	93,4	45,7	78,3	37,0	65,4	32,0	87,8	47,3	82,4	43,5	63,8	30,7	91,0	57,0
SO ₄	13,7	4,5	24,7	10,1	5,1	1,7	12,7	4,6	16,0	6,1	4,0	1,6	9,6	3,8	15,3	5,6	4,0	2,0
Cl.....	3,7	0,7	1,2	0,0	2,5	0,8	5,6	1,5	17,3	4,7	3,5	1,0	5,4	1,6	17,2	4,9	4,0	1,5
PO ₄	1,8	0,2	1,2	0,1	0	0,0	3,8	0,8	1,3	0,3	4,7	1,3	2,6	0,7	3,7	0,9	1,0	0,1
Ca.....	34,1	4,6	40,6	5,2	30,8	5,5	33,3	4,7	30,0	3,9	34,5	5,8	34,0	5,7	29,6	4,0	33,7	6,8
Mg.....	22,8	2,0	25,0	2,0	22,0	2,5	24,4	2,2	27,7	2,2	22,1	2,3	22,4	2,3	25,1	2,0	20,8	2,7
K.....	9,2	2,3	12,5	3,0	7,7	2,7	9,6	2,5	10,8	2,7	8,9	2,8	12,2	3,8	14,6	3,7	11,9	4,5
Na.....	32,9	5,0	21,9	3,2	28,5	6,0	32,9	5,3	31,5	4,6	34,5	6,5	30,9	5,8	30,7	4,5	33,7	7,7

	Nzi											
	Vers Katiola						Vers Bouaké					
	Moyenne		Crue		Étiage		Moyenne		Crue		Étiage	
	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l
CO ₃ H.....	75,2	3,2	45,4	22,0	85,6	108,0	73,6	61,7	47,4	31,7	84,4	76,5
SO ₄	13,5	5,7	19,0	6,9	5,4	5,2	11,0	6,0	20,2	10,3	8,0	5,6
Cl.....	8,4	2,7	26,4	7,5	8,4	6,2	11,8	6,3	27,8	11,0	4,5	2,3
PO ₄	3,3	0,7	9,2	2,3	0,6	0,3	3,7	1,3	4,6	1,5	3,1	1,4
Ca.....	32,6	5,7	26,4	2,8	34,7	5,2	32,1	8,4	27,9	4,0	41,3	12,1
Mg.....	22,2	2,2	24,6	1,6	16,0	4,4	20,8	3,2	24,5	2,2	22,3	4,0
K.....	14,4	4,3	20,8	4,2	10,0	8,3	10,7	5,0	15,4	4,2	9,3	5,1
Na.....	30,3	6,4	28,2	3,4	39,3	19,6	36,5	12,6	32,3	5,2	27,1	6,4

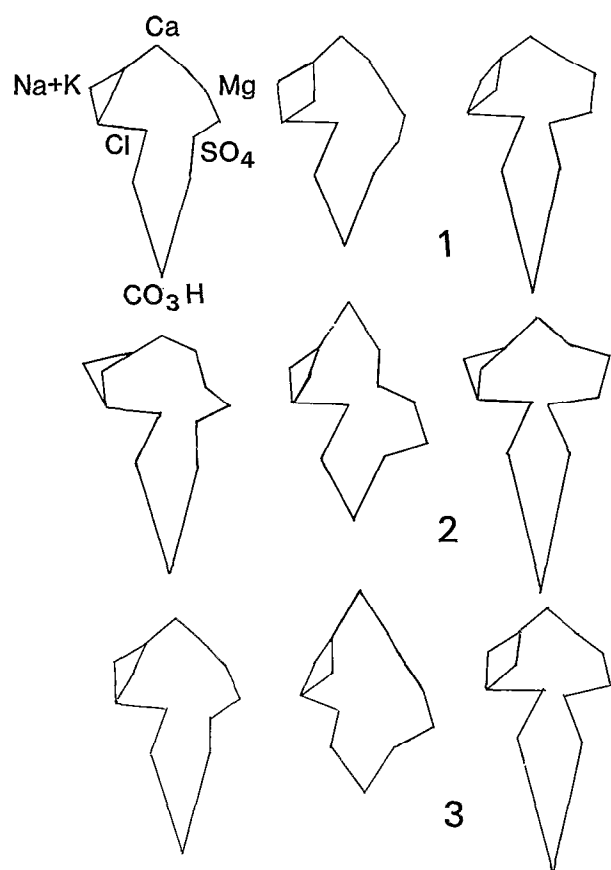


FIG. 9. — Représentation graphique (d'après KUFFERATH 1951) de la composition chimique des eaux des rivières de la zone tropicale de transition établie d'après les pourcentages des ions exprimés en me/l. 1 : la haute Comoé ; 2 : Bagoé vers Kouto ; 3 : la Léraba. A gauche, la composition moyenne calculée sur les prélèvements effectués sur une année ; au centre la composition des eaux de crue ; à droite, la composition des eaux d'étiage

d'après les prélèvements et les dosages effectués au cours d'une année, une composition relative ionique moyenne, en me/l, une composition ionique des eaux de crue et une composition ionique des eaux d'étiage.

Dans les rivières à régime tropical de transition (Bagoé, Léraba, Haute Comoé) (tabl. III), le pourcentage des bicarbonates, de l'ordre de 50 à 60 % durant la crue passe à plus de 90 % pendant l'étiage ; chez les cations, les teneurs en Ca^{++} augmentent durant la crue tandis que sodium et magnésium diminuent (fig. 9).

Pour les rivières à régime équatorial de transition atténué (Bandama, Maroué, Nzi), les pourcentages observés figurent dans le tableau IV. Les bicarbonates constituent en moyenne 73 à 82 % des ions

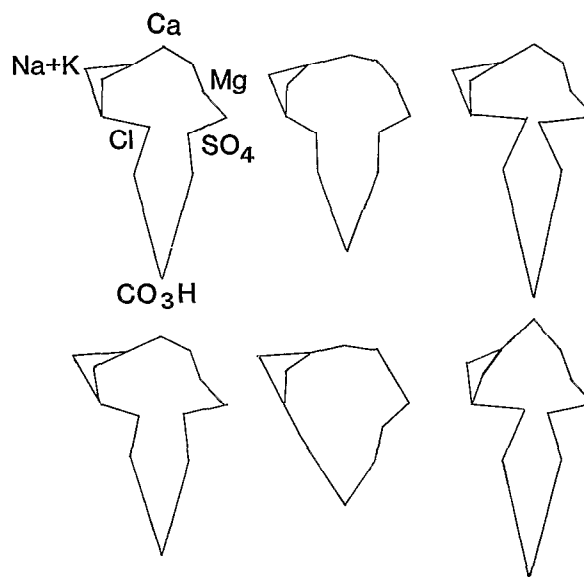


FIG. 10. — Représentation graphique (d'après KUFFERATH 1951) de la composition des eaux des rivières à régime équatorial de transition atténué, établie d'après les pourcentages des ions exprimés en me/l. En haut, le Bandama à Bada ; en bas, le Nzi à Fétékro. A gauche, composition moyenne sur une année ; au centre, composition des eaux de crue ; à droite, composition des eaux d'étiage.

mais ce pourcentage peut tomber à 65 % dans le Bandama et la Maroué et même 45 % dans le Nzi durant la crue. A l'étiage, il atteint dans l'ensemble 85 à 93 %. Dans le Nzi, le pourcentage des chlorures est assez élevé, et le pourcentage d'ions Na^+ est parfois égal et même supérieur à celui de Ca^{++} . Dans l'ensemble, la composition ionique est peu différente de celle des cours d'eau de type tropical de transition (fig. 10).

Les cours d'eau à régime équatorial de transition de la zone forestière ont une composition chimique assez différente des précédents, d'après les observations de MOLINIER (1976) sur des rivières côtières du sud-ouest de Côte d'Ivoire (tabl. V). Le pourcentage des bicarbonates est dans l'ensemble plus faible tandis que les teneurs en ions Cl^- sont plus fortes. Les cations, Mg^{++} et Na^+ ont les pourcentages les plus élevés avant le calcium, K^+ étant toujours en petite quantité. Les compositions ioniques relatives varient de façon moins marquée et les eaux de crue sont peu différentes de celles de l'étiage (fig. 11).

Dans le bas Sassandra, à 15 km de l'embouchure, fleuve dont le cours s'étend des zones à régime tropical atténué jusqu'aux zones à régime équatorial atténué, la composition ionique des eaux est de même type que celle des rivières en amont de la zone

TABLEAU V

Principaux ions des eaux des rivières du sud-ouest de Côte d'Ivoire. Pourcentages en me/l et teneurs en mg/l. Les pourcentages entre parenthèses ont été établis entre CO_3H^- et Cl^- seulement, SO_4^{--} et PO_4^{--} n'ayant pas été dosés

	San Pedro 1972						Bero 1972						Brimay					
	Moyenne		Crue		Étiage		Moyenne		Crue		Étiage		Moyenne		Crue		Étiage	
	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l
CO_3H^-	55,7	23,9	(68,0)	20,6	51,9	25,6	60,9	17,3	(73,8)	19,2	54,0	16,5	51,5	21,4	(58,5)	19,0	50,6	24,8
SO_4^{--}	24,3	8,1	—	—	25,9	10,2	21,7	4,7	—	—	26,0	5,0	14,7	4,7	—	—	14,8	5,7
Cl^-	20,0	4,9	(32,0)	5,6	22,2	6,5	17,4	3,1	(26,2)	3,8	20,0	4,7	33,8	8,3	(41,5)	7,9	34,6	9,8
PO_4^{--}	0,0	0,0	—	—	0	0,0	0,0	0,0	—	—	0,0	0,0	0,0	0,0	—	—	0,0	0,0
Ca.....	21,3	2,6	20,0	1,9	20,6	2,7	21,4	1,9	21,9	1,8	19,5	1,6	17,4	2,3	19,6	2,2	15,0	2,2
Mg.....	34,4	2,5	36,0	2,1	30,2	2,3	35,7	1,8	36,6	1,9	34,1	1,8	36,2	3,0	33,9	2,3	32,9	2,9
K.....	9,9	2,4	12,0	2,3	12,7	3,2	7,2	1,2	4,9	0,9	14,6	2,2	8,7	2,4	8,9	1,8	11,0	3,0
Na.....	34,4	4,9	32,0	3,6	36,5	5,2	35,7	3,4	36,6	3,5	31,8	3,0	37,7	6,0	37,6	4,8	41,4	6,9

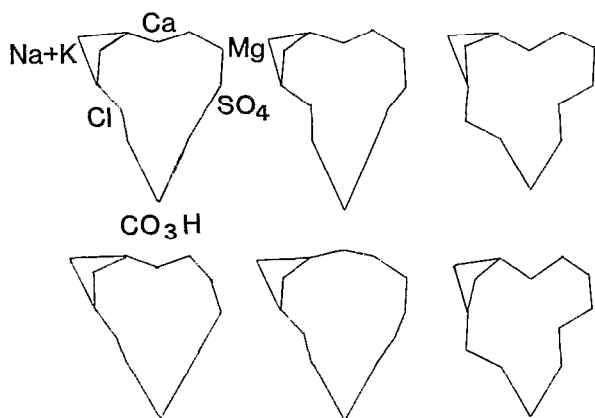


FIG. 11. — Représentation graphique (d'après KUFFERATH 1951) de la composition des eaux de trois rivières forestières à régime équatorial de transition établie d'après les pourcentages des ions exprimés en me/l. A gauche, le San Pedro ; au centre, la Néro ; à droite, la Brimay. En haut, composition moyenne sur une année ; en bas, composition des eaux d'étiage.

forestière avec un pourcentage élevé de bicarbonates, le calcium et le sodium étant dominants chez les anions (tabl. VI).

3.5.3. TENEUR EN SILICE DISSOUTE

Elle a été dosée par formation d'un complexe silicomolybdique réduit par l'acide amino-naphtol-sulfonique et colorimétrie au Technicon du bleu de molybdène formé.

D'après les valeurs trouvées aux stations étudiées, la Bagoé, la Maraoué et le Nzi apparaissent en moyenne comme les plus riches en silice dissoute ;

TABLEAU VI

Principaux ions des eaux de la Sassandra à 15 km de son embouchure (d'après MOLINIER, 1976). Pourcentages en me/l et teneurs en mg/l d'après 52 dosages effectués en 1973-74. SO_4^{--} et PO_4^{--} n'ont pas été dosés

	Moyenne		Crue		Étiage	
	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l
CO_3H^-	(88,9)	34,1	(82,7)	26,2	(90,8)	42,0
SO_4^{--}	—	—	—	—	—	—
Cl^-	(11,1)	2,6	(17,3)	3,2	(9,2)	2,4
PO_4^{--}	—	—	—	—	—	—
Ca.....	30,9	4,2	22,2	2,4	35,1	5,3
Mg.....	27,9	2,3	37,0	2,4	23,4	2,2
K.....	8,8	2,4	11,1	2,5	9,1	2,7
Na.....	32,4	5,1	29,6	3,6	32,4	5,8

les cours d'eau de la zone forestière qui sont plus acides ne possèdent pas des teneurs plus élevées que les autres cours d'eau en général plus alcalins. Les concentrations observées concordent avec les valeurs signalées pour différents autres milieux d'Afrique de l'ouest (HOLDEN et GREEN, 1960 ; IMEVBORÉ, 1970 ; EGBORGE, 1971 ; BISWAS, 1967 ; TALLING et RZOSKA, 1967).

L'analyse des variations saisonnières montre un maximum en décembre-janvier dans la majorité des rivières (fig. 12). Dans les rivières à régime tropical de transition, le minimum a lieu en juin-juillet ; dans les cours d'eau du centre du pays, un minimum intervient en général en avril et un second en août ; dans les rivières côtières, un minimum en juillet

TABLEAU VII

Teneurs en silice dissoute en mg/l dans différents cours d'eau

		Nombre de mesures/an	Moyenne	Maximum + (Date)	Minimum + (Date)
<i>Rivières à régime tropical</i>	Comoé à Gansé (1977).....	11	14,9	18,75 (1.77)	11,50 (7.77)
	Bagoé à Kouto (1977).....	11	20,0	22,60 (7.77)	15,20 (6.77)
	Léraba au pont (1977).....	12	15,1	18,25 (5.77)	8,0 (8.77)
<i>Rivières à régime équatorial de transition atténué</i>	Bandama à Bada (1977).....	34	16,7	20,0 (1.77)	9,5 (6.77)
	Bandama vers Niaka (1977).....	11	15,9	20,0 (1.77)	12,7 (4.77)
	Nzi à Fétékro (1977).....	31	19,3	27,0 (3.77)	4,0 (4.77)
	Nzi vers Katiola (1977).....	20	17,8	27,5 (3.77)	7,2 (8.77)
	Maraoué vers Bouaflé (1977).....	21	20,0	26,25 (1.77)	10,0 (8.77)
<i>Rivières à régime équatorial de transition (MOLINIER, ibid.)....</i>	San Pedro (1972).....	12	16,9	23,6 (8.72)	9,4 (7.72)
	San Pedro (1973).....	39	18,0	24,6 (12.73)	13,0 (9.73)
	Néro (1972).....	12	12,0	15,8 (8.72)	8,3 (7.72)
	Brimay (1972).....	11	16,6	23,8 (8.72)	12,0 (3.72)
<i>Rivière à régime mixte (MOLINIER, ibid.)</i>	Sassandra 15 km embouchure (1974).....	52	20,8	24,0 (1.74)	16,9 (9.74)

TABLEAU VIII

Valeurs du rapport silice dissoute sur total des anions en mg/l dans différents cours d'eau

		Minimum	Moyenne	Maximum
<i>Rivières à régime tropical de transition</i>	Comoé à Gansé.....	0,30	0,40	0,48
	Bagoé à Kouto.....	0,55	0,66	0,83
	Léraba au pont.....	0,41	0,53	0,67
<i>Rivières à régime équatorial de transition</i>	Bandama à Bada.....	0,23	0,38	0,50
	Bandama vers Niaka....	0,26	0,39	0,49
	Nzi vers Fétékro.....	0,12	0,29	0,47
	Nzi vers Katiola.....	0,21	0,37	0,66
	Maraoué vers Bouaflé....	0,21	0,41	0,57
<i>Rivières à régime équatorial de transition</i>	San Pedro.....	0,37	0,46	0,53
	Nero.....	0,34	0,43	0,48
	Brimay.....	0,42	0,45	0,48

et un autre en octobre encadrent un second maximum qui a lieu en août.

Pour caractériser la composition relative en minéraux dissous et son évolution, on a calculé le rapport de la concentration en silicates dissous en mg/l sur l'alcalinité représentée par la somme des anions (en mg/l) (tabl. VIII).

Les rivières à régime tropical ont, aux points de prélèvements, le rapport silicates sur anions le plus élevé, la Comoé à Gansé mise à part ; viennent ensuite les cours d'eau de forêt à régime équatorial et enfin le Nzi et le Bandama, rivières à régime équatorial atténué, la Maraoué vers Bouaflé ayant une valeur intermédiaire entre ces deux derniers

groupes. Les variations saisonnières de ce rapport montrent en général des valeurs faibles pour la période d'étiage en avril pour le bassin du Bandama, en mai-juin pour les cours d'eau du nord ; un second minimum apparaît souvent en août (fig. 13).

GROVE (1972) a défini pour les fleuves de la zone soudano-sahélienne de l'ouest africain (Sénégal, Niger, Chari, Bénoué) la relation existant entre la conductibilité électrique et la teneur globale de plusieurs éléments dissous exprimées en mg/l, soit $(Ca + Mg + K + Na + Cl + HCO_3) = 0,71 C$ en $\mu S + 1,4$ et $(Ca + Mg + K + Na + Cl + HCO_3 + Si O_2) = 0,95 C$ en $\mu S + 1,1$.

La valeur de cette relation a été recherchée pour

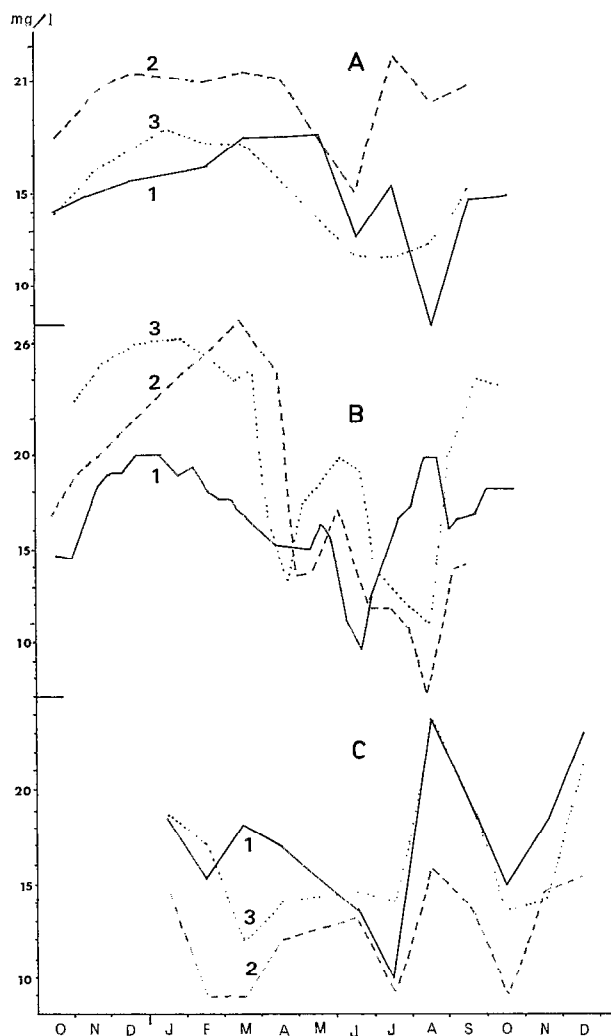


FIG. 12. — Variations saisonnières en 1976-77 de la teneur en silice dissoute exprimée en mg/l. A : dans les rivières à régime tropical de transition, la Léraba au pont frontière (1), la Bagoé vers Kouto (2), la haute Comoé à Gansé (3); B : dans les rivières à régime équatorial de transition atténué, le Bandama à Bada (1), le Nzi à hauteur de Katiola (2), la Maraoué vers Bouaflé (3); C : dans des rivières forestières à régime équatorial de transition, le San Pedro (1), la Néro (2), la Brimay (3)

plusieurs cours d'eau de Côte d'Ivoire. Une corrélation hautement significative ($r = 0,91$ à $0,98$) existe toujours entre la conductibilité et la teneur en ces différents ions; la corrélation est un peu moins bonne ($r = 0,75$ à $0,96$) mais toujours hautement significative si l'on y ajoute la silice dissoute. Les équations obtenues sont les suivantes, pour le Bandama à Bada :

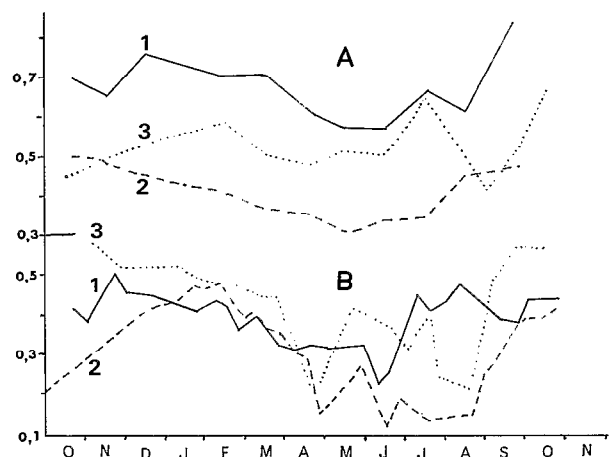


FIG. 13. — Variations saisonnières du rapport silice dissoute sur le total des anions exprimés en mg/l. A : dans les rivières à régime tropical de transition; la Bagoé vers Kouto (1), la haute Comoé à Gansé (2), la Léraba au pont frontière (3); B : dans les rivières à régime équatorial de transition atténué: le Bandama à Bada (1), le Nzi à Fétékro (2), la Maraoué vers Bouaflé (3)

$(\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Na} + \text{Cl} + \text{HCO}_3) = 0,74 \text{ C}$ en micromhos à $25^\circ \pm 9,26$.

$(\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Na} + \text{Cl} + \text{HCO}_3 + \text{SiO}_2) = 0,67 \text{ C}$ en micromhos à $25^\circ \pm 30,1$.

pour la Bagoé vers Kouto :

$(\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Na} + \text{Cl} + \text{HCO}_3) = 0,69 \text{ C}$ en micromhos à $25^\circ \pm 7,3$.

$(\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Na} + \text{Cl} + \text{HCO}_3 + \text{SiO}_2) = 0,66 \text{ C}$ en micromhos à $25^\circ \pm 28,4$.

et dans la Maraoué vers Bouaflé :

$(\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Na} + \text{Cl} + \text{HCO}_3) = 0,75 \text{ C}$ en micromhos à $25^\circ \pm 9,1$.

$(\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Na} + \text{Cl} + \text{HCO}_3 + \text{SiO}_2) = 0,62 \text{ C}$ en micromhos à $25^\circ \pm 38,6$.

soit des valeurs assez différentes de celles observées dans les fleuves sahéliens.

3.5.4. SESQUIOXYDES DE FER ET D'ALUMINE

Au cours de l'année, des teneurs moyennes de Fe_2O_3 de 1,84 mg/l dans le San Pedro, de 1,52 mg/l dans la Néro et 2,67 dans la Brimay ont été observées. Pour Al_2O_3 , les teneurs sont respectivement de 0,21, 0,17 et 0,24 mg/l.

Dans le basassandra, les teneurs moyennes sont de 1,30 mg/l de Fe_2O_3 et 0,15 mg/l d' Al_2O_3 ; les valeurs les plus basses se situent de novembre à mars (MOLINIER, *ibid.*).

4. CONCLUSIONS

Les rivières de Côte d'Ivoire apparaissent, aux différentes stations étudiées, comme des milieux particulièrement changeants sous la dépendance directe des conditions météorologiques. On peut les définir « non comme de vrais cours d'eau ayant leur vie propre, mais seulement des sortes de gouttières dont l'approvisionnement est laissé aux hasards météorologiques. Une saison où les chutes de pluies sont fréquentes et c'est l'interférence des épisodes de ruissellement, et la rivière connaît une période de hautes eaux ; un mois où les pluies sont rares et précaires, et il ne passe plus dans le lit que d'infimes débits encore affectés dans le détail de frémissements liés à chaque précipitation » (ROUGERIE, 1960).

Cette définition s'applique particulièrement aux cours d'eau petits et moyens régime équatorial de

transition normal ou atténué ; seuls, les fleuves comme la Sassandra, le Bandama et la Comoé constituent des artères traversant les zones équatoriales en conservant le régime tropical qu'ils acquièrent dans le haut bassin, tandis que les rivières de nord-ouest du pays, attachées au bassin du Niger, ont un régime régulier lié à l'alternance d'une saison sèche et d'une saison des pluies bien délimitées. Les variations plus ou moins brutales des caractéristiques physico-chimiques des eaux reflètent l'instabilité ou la régularité du régime hydrologique de ces milieux, mais dans l'ensemble, la composition chimique moyenne des eaux des cours d'eau ivoiriens est proche de la composition moyenne des eaux africaines (MEYBECK, 1979).

*Manuscrit reçu au Service des Éditions de l'O.R.S.T.O.M.
le 25 janvier 1982.*

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADEBISI (A. A.), 1971. — The physico-chemical hydrology of a tropical seasonal river : Upper Ogun River. *Hydrobiologia*, 79 : 157-165.
- BISWAS (S.), 1967. — Hydrobiology of the Volta river and some of its tributaries before the formation of the Volta lake. *Ghana J. Sci.*, 8 (3-4) : 152-166.
- EGBORGE (A. B. M.), 1971. — The chemical hydrology of the River Oshun, Western State, Nigeria. *Freshwat. Biol.*, 1 : 257-271.
- EGBORGE (A. B. M.), 1972. — The sulphate content of a Nigerian River. *Arch. Hydrobiol.*, 70 (1) : 67-71.
- ELDIN (M.), 1971. — Le climat in Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. *Mém. O.R.S.T.O.M.*, n° 50 : 73-108.
- GIRARD (G.), SIRCOULON (J.), 1968. — Aperçu sur les régimes hydrologiques de Côte d'Ivoire. Centre O.R.S.T.O.M. d'Adiopodoumé, Côte d'Ivoire, 56 p. *multigr.*
- GIRARD (G.), SIRCOULON (J.), TOUCHEBEUF (P.), 1971. — Aperçu sur les régimes hydrologiques. In Le Milieu naturel de la Côte d'Ivoire, *Mém. O.R.S.T.O.M.*, n° 50 : 109-155.
- GOLTERMAN (H. L.), 1975. — Chemistry In River Ecology edited by B. A. Whitton, Blackwell Scientific Publications Oxford : 39-80.
- GROVE (A. T.), 1972. — The dissolved and solid load carried by some West African rivers : Sénégal, Niger, Benue and Shari. *J. Hydrol.*, 16 : 277-300.
- HOLDEN (M. J.), GREEN (J.), 1960. — The hydrology and plankton of the River Sokoto. *J. anim. Ecol.*, 29 : 65-84.
- IMEVBORE (A. M. A.), 1970. — The chemistry of the River Niger in the Kainji Reservoir area. *Arch. Hydrobiol.*, 67 : 412-431.
- KUFFERATH (J.), 1951. — Représentation graphique et classification chimique rationnelle en types des eaux naturelles. *Bull. Inst. Roy. Sc. Nat. Belg.*, 27, 43-44-45, 22 p.
- LENOIR (F.), 1972. — Exportation chimique d'un bassin intertropical (le Bandama, Côte d'Ivoire). Thèse Nice n° AO 7845, 375 p. *multigr.*
- LÉVÊQUE (C.), ODEI (M.), PUGH THOMAS (M.), 1978. — The Onchocerciasis Control Program and the monitoring of its effects on the riverine biology of the Volta River Basin in « Ecological effects of Pesticides », F.-H. PERRING and K. MELLAMBY ed., *Linnean Society Symposium series*, n° 5 : 133-143.
- MEYBECK (M.), 1979. — Concentration des eaux fluviales en éléments majeurs et apports en solution aux océans. *Rev. Géol. dyn. et Géogr. phys.*, 21 (3) : 215-246.
- MOLINIER (M.), 1976. — Qualité des eaux de surface en zone forestière équatoriale de Côte d'Ivoire. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrol.*, vol. XIII, n° 1 : 7-36.
- MOREL (M.), TOILLIEZ (J.), 1974-1975. — Hydrologie du San Pedro. Centre O.R.S.T.O.M. d'Adiopodoumé, Côte d'Ivoire, 18 p. *multigr.*

- MOREL (M.), TOILLIEZ (J.), 1974-1975. — Étude hydrologique de la Néro. Centre O.R.S.T.O.M. d'Adiopodoumé, Côte d'Ivoire, 23 p. *multigr.*
- O.R.S.T.O.M.-O.M.S., 1976. — Rapport annuel d'activités. Convention O.R.S.T.O.M.-O.M.S. Laboratoire d'Hydrobiologie de Bouaké (Côte d'Ivoire), 7 p. *multigr.*
- QUILLÉVÉRE (D.), GOUZY (M.), SECHAN (Y.), PENDRIEZ (B.), 1976. — Étude du complexe *Simulium damnosum* en Afrique de l'Ouest. IV. Analyse de l'eau des gîtes larvaires en saison sèche. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Ent. Méd. et Parasitol.*, vol. XIV, n° 4 : 315-330.
- RAI (H.), 1974. — Limnological observation on the rivers and lakes in the Ivory Coast. *Hydrobiologia*, 44 : 301-317.
- ROUGERIE (G.), 1960. — Le façonnement actuel des modelés en Côte d'Ivoire. *Mém. I.F.A.N.*, 58, 542 p., 134 fig.
- TALLING (J. F.), TALLING (I. B.), 1965. — The chemical composition of African Lake Waters. *Int. Revue ges. Hydrobiol.*, 50 (3) : 421-463.
- TALLING (J. F.), RZOSKA (J.), 1967. — The development of plankton in relation to hydrological regime in the Blue Nile. *J. Ecol.*, 55 : 637-662.
- TRAORE (K.), 1979. — Caractéristiques limnologiques du lac de Kossou (Côte d'Ivoire). I. Hydroclimat et aperçu hydrochimique du lac de Kossou. *Ann. Univ. Abidjan. Série E (Écologie)*, 12 : 29-69.